

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平3-254126

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成3年(1991)11月13日

H 01 L 21/3205

6810-5F  
6810-5F

H 01 L 21/88

A  
N

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全4頁)

⑭ 発明の名称 半導体集積回路配線の評価方法

⑮ 特 願 平2-53230

⑯ 出 願 平2(1990)3月5日

⑰ 発 明 者 平 岡 一 則 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑱ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

⑲ 代 理 人 弁理士 高山 敏夫 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

半導体集積回路配線の評価方法

## 2. 特許請求の範囲

周囲温度を一定期間一定に保ち  $1 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$  以上の電流密度の電流を流して半導体集積回路のアルミニウム配線層の信頼性を評価する方法において、周囲温度を高温域と低温域の間で周期的に交互に変化させることを特徴とする半導体集積回路配線の評価方法。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は半導体集積回路の配線の評価に関し、特にエレクトロマイグレーション寿命を短期間に正確に評価する方法に関するものである。

(従来の技術)

集積回路技術の進歩により内部回路は微細化され、内部配線も微細に形成されるようになった。配線材料としては、配線による信号伝搬遅延を抑制するためアルミニウムが使われている。アルミ

配線では、大きな電流密度の下で電流の担体である電子とアルミニウム原子との運動量交換が起こりアルミニウム原子が移動してヒロックやボイドが発生し、配線の短絡もしくは断線故障が発生することが広く知られている。この故障現象は、エレクトロマイグレーション(以下EMと記す)と呼ばれている。

(発明が解決しようとする課題)

従来のEM故障を評価する方法では、高温の一定温度のもとで  $1 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$  以上の電流密度の大電流を流して評価していた。評価時間を短縮するために、電流密度を大きくするか温度を上げていた。

しかしこの加速試験方法では、大電流を流すことで発生するジュール発熱の影響もあり、配線温度が極めて(200℃以上にも達すること多い)高くなる。そのため、実使用温度(80℃以下)で起きる故障と異なるメカニズムの故障が発生し、正確な評価ができない。

例えば、ジュール発熱のため配線中に温度勾配

ができ、温度勾配に起因するサーマルマイグレーション故障がEM故障と同時に進行するため、EM寿命が見掛け上短く測定されてしまうことがある。またEMはアルミの結晶性と密接な関連を持っており、アルミの結晶性の変化する200℃以上の高温域では、実使用状態を模擬した正確な評価はできない。

本発明は上記の欠点を改善するために提案されたもので、その目的は、EM故障を短時間で正確に測定することで、高信頼なアルミニウム配線を安定的に提供するための半導体集積回路配線の評価方法を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

上記の目的を達成するため、本発明は周囲温度を一定期間一定に保ち $1 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$ 以上の電流密度の電流を流して半導体集積回路のアルミニウム配線層の信頼性を評価する方法において、周囲温度を高温域と低温域の間で周期的に交互に変化させることを特徴とする半導体集積回路配線の評価方法を発明の要旨とするものである。

高温域では、EM故障の原因となるアルミ原子の抜けた穴(以下空孔と記す)が高密度に生成され、この空孔は電流担体である電子と運動量交換により高速で移動し、将来断線する場所(以下ボイドと記す)に蓄積されていく。空孔密度、移動速度は温度が高いほど大きい。したがって、高温域では、多量の空孔がボイド周辺に蓄積される。

一方低温域では、空孔の生成量は小さく移動は抑えられるが、高温域で蓄積されたボイド周辺の高い空孔密度は保持されている。さらに低温域では、配線の上下にある絶縁膜から配線に大きな引張り応力が働く。これは、アルミ膜と絶縁膜の熱膨張係数の違いに起因する熱応力であり、アルミ層の形成温度と試験温度の差の2乗以上に比例する。従って、試験温度が低いほど応力が大きくなる。ボイド部には周囲よりも大きな引張り応力が働き、ボイドの成長によって、応力緩和が生じる。すなわち応力によって、EM故障と同じような断線故障モードが進行し、それは低温試験により加速される。

換言すれば、本発明は、半導体集積回路のアルミニウム配線層に $1 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$ 以上の電流密度の電流を流しながら、配線温度を125℃以上の高温域と0℃以下の低温域の間で交互に変化させる(以下温度サイクルと記す)ことを特徴とするものである。

ここに高温域として125℃以上、低温域として0℃以下と定めたものは、通常この種の半導体集積回路は125℃未満、0℃を越えた範囲で用いられているので、本発明においては加速試験を行うため、高温域として125℃以上、低温域として0℃以下を用いることにしたものである。しかしてこの試験において温度サイクル試験を、集積回路の故障発生(例えば配線の短絡、断線など)するまでの回数を調べ、この回数により集積回路の品質の判定を行うものである。

(作用)

本発明においては、集積回路に通電しながら、周囲温度に温度サイクルを加えることで、短期間に正確なEM寿命が測定できるものである。

本発明による通電しながら温度サイクルを加える評価方法を、故障メカニズムの視点から説明すると、高温域で空孔発生量と移動速度を大きくしてボイド周辺の空孔密度を一定以上に大きくし、低温域で応力により故障メカニズムを加速している。ボイド周辺の空孔はボイドの成長に使われるため、低温域の応力加速の期間では空孔密度は徐々に減ってくる。そこで、一定時間ごとに高温域に戻して空孔をボイド周辺に送り込んで補給・蓄積すれば、低温域での加速は継続されることになる。

この方法により、従来よりも評価時間が短くなることを、以下に説明する。

仮に、配線温度を高温域に保ったままで電流を流して故障するまでの時間を、 $t_1$ とする。これは、従来の評価方法による故障時間と等しい。また仮に、ボイド周辺の空孔密度が高温域と同じ状態として、試験温度を低温域に保ったままで電流を流して故障するまでの時間を、 $t_2$ とする。さらに、本発明による方法での故障時間を、 $t$ とす

る。

高温域と低温域の温度サイクルの1サイクル中で、高温域の時間割合を $r_1$ 、低温域の時間割合を $r_2$ とする。

$$r_1 + r_2 = 1 \quad (1)$$

本発明による評価方法での故障の進行速度は、高温域での故障の進行速度と低温域での故障の進行速度の和である。故障の進行速度は、故障時間の逆数に比例するから

$$1/t = (1/t_1) \times r_1 + (1/t_2) \times r_2 \quad (2)$$

となる。この式を変形して

$$1/t = (1/t_1) + \{(1/t_2) - (1/t_1)\} \times r_2 \quad (3)$$

を得る。配線幅が狭くなると熱応力が大きくなることが知られており、その場合

$$t_1 > t_2 \quad (4)$$

となる。したがって

$$t < t_1 \quad (5)$$

が成立する。本発明による評価方法の方が、従来の評価方法よりも短時間に故障が発生することが示せた。

高温域125℃で約5分間、低温域0℃で約5分間とってある。

第3図は試験装置の構成を表し、図において、1は恒温槽、2は測定系、3は電流源、4は制御装置、5は試料、6は測定用の信号線、7は電流バイアス線、8は制御線である。

これを動作するには、まず恒温槽を所定の高温に設定し、次に試料に電流源から第1図に示す電流 $I_0$ を流す。試験開始後、制御装置にあらかじめ入力されたプログラムに従い、恒温槽の温度を $T_1$ と $T_2$ の間を一定周期で変化させ、試料が断線するまで続ける。試料が断線したことは、測定系の抵抗測定値より制御装置で判断する。

(発明の効果)

以上説明したように、本発明によれば、通電しながら周囲温度に温度サイクルを加えることで、短時間に正確なEM寿命が測定できる。

集積回路の高密度化に伴い配線の微細化が進むので、過剰な信頼性マージンを排した正確な評価が必要となる。また、信頼性も含めた開発期間の

なお、 $1/t = (1/t_1) \times r_1 + (1/t_2) \times r_2$ の式が成立するのは、本発明の評価方法のように、周期的に繰返す高温域での通電で空孔をボイド周辺に供給することで、低温域でもボイド周辺に高い空孔密度が保持されている場合だけである。

もし、高温域がなく低温域でのみ試験を実施したならば、空孔の発生量は少なく空孔の移動速度も遅いため、ボイド周辺の空孔密度は低いままである。この時大きな応力が加わっても、ボイドの成長のもととなる空孔がないから、故障の進行速度は $1/t_2$ よりも格段に遅い。

(実施例)

次に本発明の実施例について説明する。なお、実施例は一つの例示であって、本発明の精神を逸脱しない範囲で、種々の変更あるいは改良を行い得ることは言うまでもない。

第1図は本発明の評価方法に用いられる通電電流を示すもので、横軸に時間、縦軸に電流の大きさを示している。

第2図は温度 $T_1$ 、 $T_2$ の変化を示すもので、

短縮化も、従来に増して重要になってきている。

このような状況の中で、本発明による短時間かつ正確な評価方法は、極めて有効な方法である。

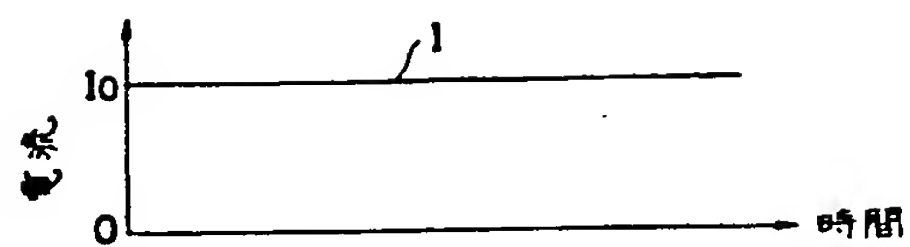
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は通電電流、第2図は温度 $T$ の変化、第3図は試験装置の構成を示す。

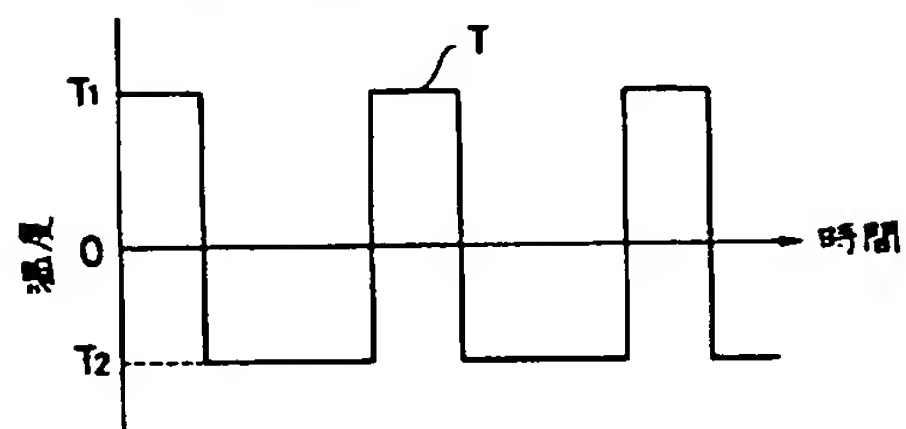
- 1・・・恒温槽
- 2・・・測定系
- 3・・・電流源
- 4・・・制御装置
- 5・・・試料
- 6・・・測定用の信号線
- 7・・・電流バイアス線
- 8・・・制御線

特許出願人 日本電信電話株式会社  
代理人 弁理士 高山 敏夫(外1名)

第 1 図



第 2 図



第 3 図

